Spektroskop A. Hilgera z pryzmatem o stałym odchyleniu i ze skalą długości fal.

(Wawelenghts spectroscope).

Zamierzam w poniższym dać opis rzeczy nie tyle nowej, ile praktycznej i dobrej, którą miałem możność wypróbować osobiście w ciągu ostatnich lat kilku. Pragnę mówić o spektroskopie Hilgera z pryzmatem o stałym odchyleniu i ze skalą długości fal.

Pomiędzy najrozmaitszemi kombinacjami pryzmatów, jakie proponowano w celu otrzymywania widm o poważnym rozszczepieniu, a które przytacza w swym dziele Keyser [1]), i pomijając ogólnie znane kombinacje pryzmatów Amici i Rutherfurda, wielką prostotą pomysłu cechuje się czworokątny pryzmat, stosowany przez p. A. Hilgera. Według informacji, nadesłanych mi przez firmę A. Hilgera, szczegółowy jego opis nie był ogłaszany drukiem, pozwolę więc sobie przedewszystkim opisać sam pryzmat i przebieg w nim promienia światła. Jest to pryzmat czworokątny, o kątach 90^0—75^0—135^0 i 60^0.

Na fig. 1 widzimy przecięcie główne tego pryzmatu. Kąt $A=75^0$, kąt $D=90^0$. Ściśle rzeczy biorąc wielkość kątów B i C jest (w pewnych granicach) obojętna dla przebiegu promienia światła, Hilger jednak robi kąt $B=135^0$, a kąt $C=60^0$, nadto szlifuje swe pryzmaty tak, że $DC=2BC$.

Promień światła po wejściu przez I oraz po załamaniu się, ulega

---

[1]) Między innemi bardzo godnemi uwagi są czworokątne pryzmaty Resslera ($47^0 28'$—$110^0 9'$—$47^0,28'$—$145^0 55''$), tegoż sześciokątny pryzmat o trzykrotnym wewnętrznym odbiciu, pryzmaty Emsmana (czterokątny), Herschela (o 2-ch pryzmatach), Goltzscha (2 pryzmaty), Rico (2 pryzmaty), Littrowa (jeden pryzmat) i t. d.

w I_2 całkowitemu wewnętrznemu odbiciu i wychodzi przez I_1, ulegając odchyleniu o kąt δ.

Rysunek wskazuje, po rozpatrzeniu trójkąta $I_1 \delta O$, że

$$\delta = 2d - i_1 - (d - i) = d + (i - i_1) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (I)$$

Wzór ten (I) wykazuje, że, jeśli tylko zrobimy $i = i_1$, to najmniejsze odchylenie będzie równe kątowi prostemu.

Dalsze badanie rysunku doprowadza nas do wniosku, że

$$2r + 30^0 + r_1 + 90^0 - r = 180^0$$

a stąd

$$r + r_1 = 60^0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (II)$$

A więc pryzmat ten działa jak zwykły pryzmat o kącie 60^0 i wywołuje, rzecz prosta, takie same rozszczepienie.

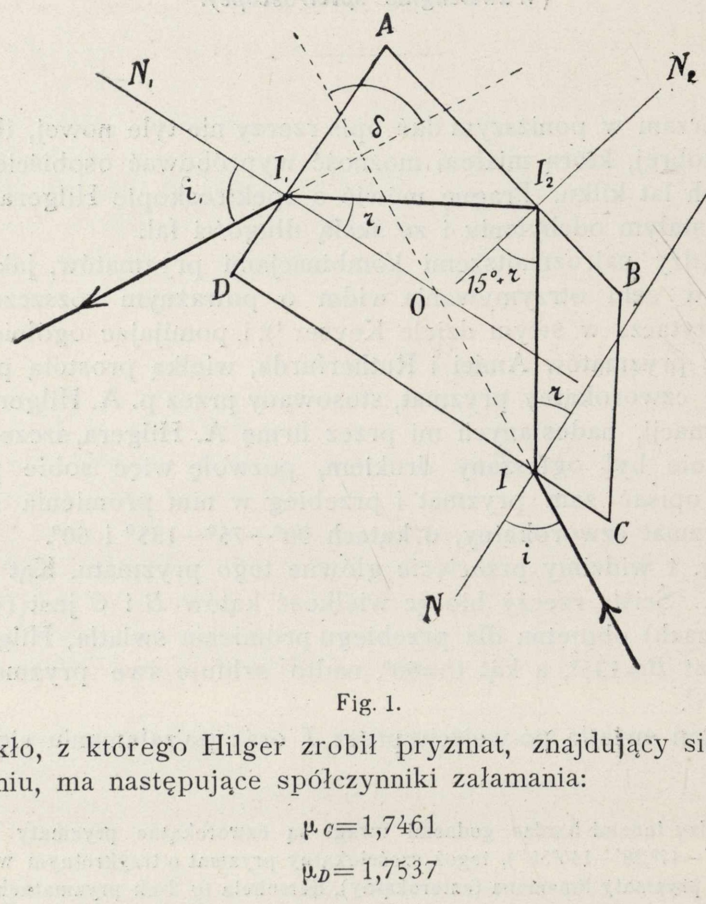


Fig. 1.

Szkło, z którego Hilger zrobił pryzmat, znajdujący się w moim posiadaniu, ma następujące spółczynniki załamania:

$$\mu_C = 1{,}7461$$

$$\mu_D = 1{,}7537$$

$$\mu_F = 1{,}7733$$

i one to, jak wiadomo, są miarą zdolności rozszczepiania danego materjału i wpływają w sposób stanowczy na wielkość samego obserwowanego rozszczepienia i na jego rodzaj, t. j. na względne odległości poszczególnych linji widma.

To jednak, co obserwujemy w spektroskopie, t. j. widmo i jego długość pomiędzy danemi linjami, zależy nie tylko od zdolności rozszczepiania materjału łamiącego, ale nadto od wielkości kąta padania i (a więc zarazem r), oraz od własności układu optycznego, przez który rozpatrujemy widmo [1]).

Bardzo prosty rachunek wykazuje, że najmniejsze rozszczepienie mamy wtedy, gdy kąt odchylenia δ jest najmniejszy, t. j. gdy $i=i_1$ oraz $r=r_1$. W tych warunkach widmo jest coprawda najkrótsze, ale zarazem oczywiście najjaskrawsze, a więc najlepsze do obserwacji. Lecz proste zastanowienie się doprowadza do wniosku, że tylko dla pewnego danego rodzaju światła może być urzeczywistniony warunek $i=i_1$ oraz $r=r_1$. Gdy bowiem promień dajmy na to linji C jest w minimum odchylenia z promieniem padającym białego (polichromicznego) światła, to spółcześnie wszystkie inne promienie nie są i nie mogą być z promieniem padającym w minimum odchylenia, i im więcej różnią się częstością drgań od promienia odpowiadającego linji C, tym większe jest ich rozszczepienie w wyniku prostych konieczności gieometrycznych.

W celu jaśniejszego przedstawienia tych stosunków, oraz w celu ułatwienia opisu przyrządu Hilgera, przypomnijmy sobie zasady budowy każdego spektroskopu (resp. spektrografu). Składa się on—wówczas gdy działa:

1) Ze źródła światła, którym bywa zazwyczaj jaskrawo oświetlona szczelina, równoległa do krawędzi pryzmatu łamiącego, oraz z soczewki, paralelizującej rozbieżne promienie, wychodzące ze źródła. To połączenie szczeliny z soczewką nosi nazwę kolimatora.

2) Z pryzmatu lub układu pryzmatów.

3) Z układu optycznego (lunety), za pomocą którego rozpatrujemy lub fotografujemy widmo.

Fig. 2 poczerpnięta z książki p. Urbaina, ilustruje schematycznie budowę spektroskopu, przyczym P przedstawia w ogólności pryzmat

---

[1]) Każdy pryzmat daje sam przez się obrazy, lecz obrazy te dla rzeczywistych punktów świecących są zawsze urojone, to znaczy, że po przejściu pryzmatu mamy zawsze rozbieżne wiązki promieni każdej łamliwości. Chcąc je uczynić zbieżnemi w celu otrzymania obrazów rzeczywistych, musimy się uciec do układów optycznych zbierających.

lub układ cały pryzmatów dowolnej konstrukcji. Figura ta niech nam posłuży jedynie do zaznaczenia, że pomysłowość mechaników wyczerpała niemal wszystkie możliwe kombinacje, a mianowicie: budują spektroskopy o nieruchomym kolimatorze i pryzmacie, zaś luneta jest ruchoma; w innych pryzmat jest nieruchomy, a luneta i kolimator ruchome[1]); w innych wszystkie trzy składniki przyrządu są ruchome; w innych wreszcie — i do nich należy spektroskop A. Hilgera — kolimator i luneta są nieruchome, a obracać można tylko pryzmat—obracać, oczy-

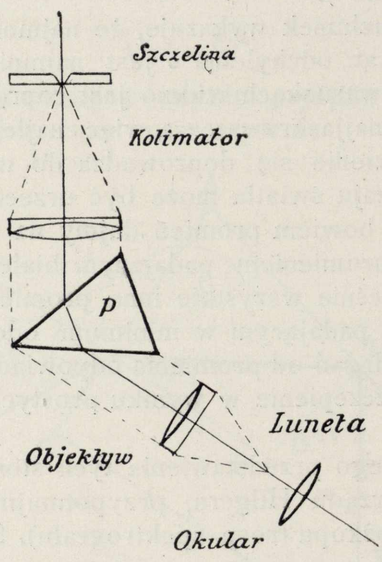


Fig. 2.

wiście, dokoła osi, równoległej do krawędzi pryzmatu, zazwyczaj pionowej.

Po tym przypomnieniu, wyobraźmy sobie, że mamy pryzmat Hilgera, i że dla promieni odpowiadających linji *C* otrzymujemy w nim kąt najmniejszego odchylenia, a więc kąt prosty. Aby takie odchylenie otrzymać dość jest postawić pryzmat tak, aby w lunecie zobaczyć widmo, lub jakąkolwiek jego część, wtedy bowiem napewno oś lunety i oś kolimatora tworzą z obu ścianami pryzmatu kąty równe (gdyż ramiona dwuch kątów prostych, jakkolwiek względem siebie po-

---

[1]) W spektroskopie Krüssa z Hamburga, należącym do tego typu, luneta tak jest mechanicznie związana z kolimatorem szczeliny, że ruch jednej pociąga za sobą nieodbicie ruch drugiego na takiż sam kąt w drugą stronę, przyrząd więc, niezależnie od woli obserwatora, pracuje zawsze w minimum odchylenia.

łożonych, tworzą kąty zawsze wzajemnie sobie równe), a więc $i=i_1$ oraz $r=r_1$, oczywiście dla promieni, przebiegających równolegle do osi lunety, t. j. dla promieni, oświetlających przecięcie nitek pajęczych lunety.

Łatwo obliczyć, że przy użyciu szkła, z jakiego zrobiony jest pryzmat w moim spektroskopie, t. j. przy $\mu_C=1{,}7461$ kąty te $i=i_1$ muszą być równe $60^0 48' 54''{,}07$. Przy takim postawieniu pryzmatu względem lunety i kolimatora, na przecięciu się nici pajęczych lunety zobaczymy Fraunhoferowską linję C widma słonecznego.

Obracajmy teraz pryzmatem dopóty, dopóki—przy niezmiennych położeniach kolimatora i lunety — nie naprowadzimy na przecięcie nitek linji Fraunhofera F, dla której $\mu_F=1{,}7733$. W tych warunkach kąty $i=i_1$ muszą być równe $62^0 27' 18''{,}90$.

Widzimy stąd, że musimy pryzmat obrócić względem stałych części przyrządu o kąt $62^0 27' 18''{,}90 - 60^0 48' 54''{,}07 = 1^0 38' 24''{,}83$ to jest przeszło o półtora stopnia. Ten to kąt, przeszło półtora stopnia wynoszący, jest poniekąd kątową miarą rozszczepienia, ale rozszczepienia, że tak powiem, idealnego, rozszczepienia w minimum odchylenia, którego bezpośrednio nie możemy obserwować i które nie jest równe temu rozszczepieniu, jakie widzimy w lunecie spektroskopu i którego wynikiem jest dostrzegane przez nas widmo.

Aby ostatecznie zdać sobie sprawę z tego, co właściwie widzimy w lunecie spektroskopu, jakie rozszczepienie kątowe odpowiada poszczególnym promieniom dostrzeganego przez nas widma, załóżmy, że obserwujemy widmo w takim położeniu, w którym linja C zakrywa przecięcie nitek w lunecie. Wtedy, jak to już wyżej przytoczyłem, kąt $i=i_1=60^0 48' 54''{,}07$.

Lecz wtedy kąt i jest kątem padania białego światła, a więc światła wszelkich długości fal. Obliczmy, zresztą zupełnie elementarnym rachunkiem, jaki będzie kąt wyjścia t. j. kąt i'_1 dla promieni, odpowiadających już nie linji C, lecz linji F, dla której $\mu_F=1{,}7733$. Znajdujemy, że kąt ten równa się $64^0 11' 4''{,}11$. A więc kąt rozszczepienia wynosi $i'_1 - i_1 = 3^0 22' 10''{,}04$, a więc, nie poruszając ani pryzmatu ani kolimatora, musielibyśmy lunetę przyrządu obrócić o kąt $3^0 22' 10''{,}04$ aby naprowadzić linję F widma słonecznego na przecięcie nitek lunety. Ten kąt właśnie jest miarą dostrzeganego przez nas rozszczepienia w widmie, — ten też kąt będzie decydował o długości fotografji widma, jeśli zamiast lunety umieścimy komorę fotograficzną.

* * *

Po tych uwagach wstępnych mogę przystąpić do opisu spektroskopu A. Hilgera.

Na bardzo ciężkim surowcowym trójnogu umieszczone są nieruchomo pod kątem prostym luneta i kolimator (fig. 3). Pomiędzy niemi umieszczony jest stolik, na którym stawia się opisany powyżej pryz-

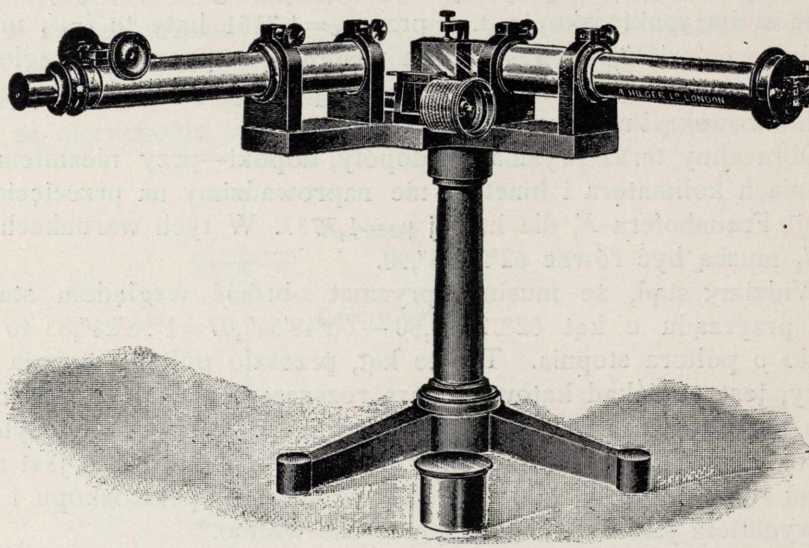


Fig. 3.

mat. Stolik ten, jedyna ruchoma część przyrządu, może się obracać dokoła osi pionowej, a wraz z nim obraca się oczywiście i pryzmat. Obrót stolika wraz z pryzmatem dokonywa się przez obrót śruby mikrometrycznej, która obraca się w mutrze, przytwierdzonej nieruchomo do trójnoga. Swobodny zahartowany koniec śruby mikrometrycznej stalowej opiera się o stalowe ramię stolika i, popychając je, wywołuje jego obrót w jedną stronę, podczas gdy mocna sprężyna dociska to ramię do końca cofającej się śruby mikrometrycznej.

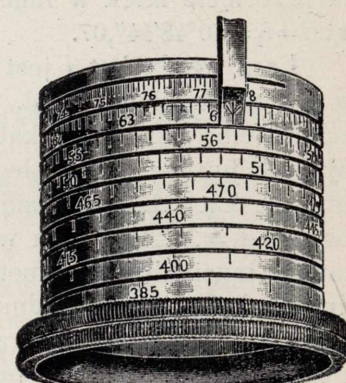


Fig. 4.

Główkę śruby mikrometrycznej stanowi duży cylinder, przedstawiony na fig. 4 w naturalnej wielkości. Na cylindrze tym nacięta jest helikoidalna szczelina, w której przesuwa się wskaźnik w miarę obrotu mikrometru. Wskaźnik ten wyznacza poprostu długość fali tej linji świetlnej, która pokrywa przecięcie nitek

w lunecie. Długości fal wypisane są na cylindrze w milionowych częściach milimetra, a więc na oko można jeszcze odczytywać jednostki Angströma, t. j. dziesięciomiljonowe części milimetra. Szczególniej łatwo można to uskuteczniać przy falach krótkich (niebieskich), dla których podziałki są daleko szerzej rozstawione, niż dla fal długich, co czytelnik z łatwością może dostrzedz na fig. 4.

Aby wskaźnik wykazywał istotne długości fali światła, pokrywającego przecięcie nitek, należy oświetlić szczelinę kolimatora światłem o znanej długości fali, (a więc najlepiej światłem rurki helowej), nastawić wskaźnik na daną długość fali i następnie ręką obracać pryzmat na stoliku dopóty — dopóki dana linja nie pokryje przecięcia nitek. Jest to czynność dość żmudna i delikatna, ale skoro raz zostanie dokonana, wystarczy umocować pryzmat nieruchomo za pomocą odpowiedniej śruby, aby mieć przyrząd w zupełnym porządku do badań.

Podziałka na cylindrze jest robiona doświadczalnie, a jak daleko sięga jej dokładność — niech posłużą dane, jakie otrzymałem z moim przyrządem na widmie helu.

	Istotna długość fali	Długość fali na przyrządzie Hilgera	Różnica
Czerwona	707	708,1	—1,1
Czerwona	668	668,1	—0,1
Żółta	587,6	587,6	0,0
Zielona	501,7	501,6	+0,1
Zielona	471,6	471,0	+0,6
Błękitna	446,9	444,4	+2,5

Jak na spektroskop o jednym pryzmacie, są to różnice bardzo niewielkie. Możnaby je jeszcze zmniejszyć, przestawiając cokolwiek stanowisko bębna względem samej śruby mikrometrycznej,—wolałem jednak ułożyć sobie tablicę poprawek, aniżeli przedsiębrać bądź co bądź ryzykowną czynność przestawiania bębna, chociaż ku temu jest przewidziana w budowie przyrządu odpowiednia śrubka [1]).

[1]) Niech mi tu wolno będzie zaznaczyć, że można w czerwonej części widma doprowadzić do tego, że zarówno obraz linji widma jak i obraz szczeliny leżą ściśle w jednej płaszczyźnie, o czym przekonywa nas to, że zmiany w położeniu oka przed okularem wcale nie wpływają na względne położenie nici i obserwowanej linji. Zupełnie inaczej stoją sprawy, gdy obserwujemy linje w błękitnej i niebieskiej części widma. Wtedy nie można tak nastawić lunety i okularu, aby ruch oka nie pociągał za sobą zmian we względnym położeniu nici i obserwowanej linji. Wpływa to oczywiście na dokładność obserwacji i prawdopodobnie jest wynikiem aberacji chro-

A. Hilger przeprowadza kalibrowanie bębna na podstawie łukowego widma żelaza, które jest i bardzo bogate i doskonale zbadane.

Długości ogniskowe objektywów, zarówno lunety jak i kolimatora, wynoszą 28,575 cm. (11¼ cala), zaś apertura 3,17 cm. (1¼ cala). Okular lunety jest nieruchomy, objektyw zaś można doń zbliżać lub oddalać, w celu naprowadzenia obrazu na ognisko. Jest to bardzo szczęśliwy pomysł, ruch bowiem podłużny w szerokich rurach jest pewniejszy co do zachowania tożsamości osi, aniżeli w wązkich rurach, w jakich są umieszczone okulary.

Za dość znaczną stosunkowo dopłatą (Ł. 4) A. Hilger dodaje do swego spektroskopu doskonały okular z żaluzjami, przedstawiony na fig. 5. Jest to okular w ognisku którego przesuwać można dwie zaczernione blaszki mosiężne i w ten sposób zasłaniać lub odsłaniać dowoli tę lub ową część widma. Jest to nader dogodne urządzenie, gdy chodzi o obserwowanie słabych, ledwo dostrzegalnych linji w pobliżu linji bardzo jaskrawych. Jaskrawe bowiem linje poprostu tak oślepiają, że obserwacja linji słabych jest prawie niemożliwa. Skoro jednak jaskrawą linję zasłonimy żaluzją, wówczas obserwacja linji słabych jest w wysokim stopniu ułatwiona.

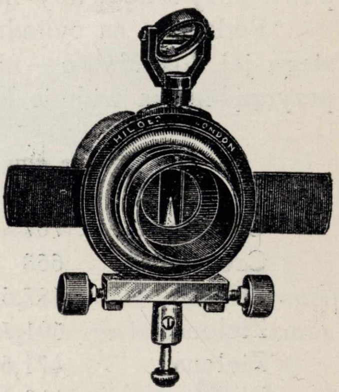


Fig. 5.

Jeżeli w całym polu widzenia mamy tylko kilka linji, wówczas na ciemnych częściach pola widzenia pajęczych nici zwykłego okularu wcale nie widać. Tę niedogodność usuwa także opisywany okular z żaluzjami, w którym zamiast nici pajęczych znajduje się jedno klinowato ścięte, doskonale wypolerowane ostrze metalowe, oświetlane z góry za pomocą maleńkiego zwierciadła przez otworek w ścianie okularu. Ostrze to, a właściwiej jego koniec zastępuje doskonale nić pajęczą i jest zawsze doskonale widoczne. Z fig. 5-ej widać, że za pomocą trzech śrub można ostrze to przesuwać na

matycznej oka, niepozwalającej otrzymać spółcześnie na siatkówce ostrych obrazów niebieskich i białych, podczas gdy ostre obrazy białe z jednej strony, oraz czerwone i żółte z drugiej — dają się otrzymywać. Zmiany we względnym położeniu nici i obserwowanej linji, zależne od położenia oka przed okularem, są bardzo poważne, przekraczają 10 jednostek Angströma (1 jednostka w przytoczonej tablicy), należy więc obmyśleć i wynaleźć jakikolwiek sprawdzian na to, że oko zajmuje zawsze właściwe położenie. Jest to możliwe—przy starannej obserwacji.

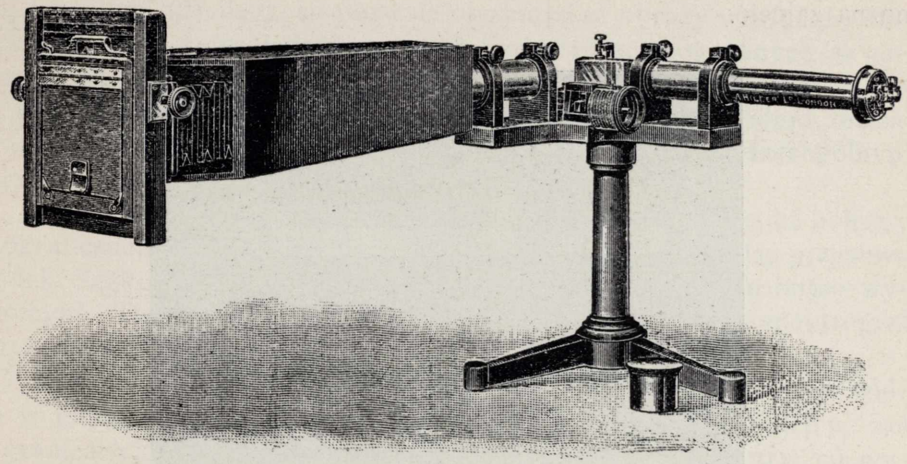


Fig. 6.

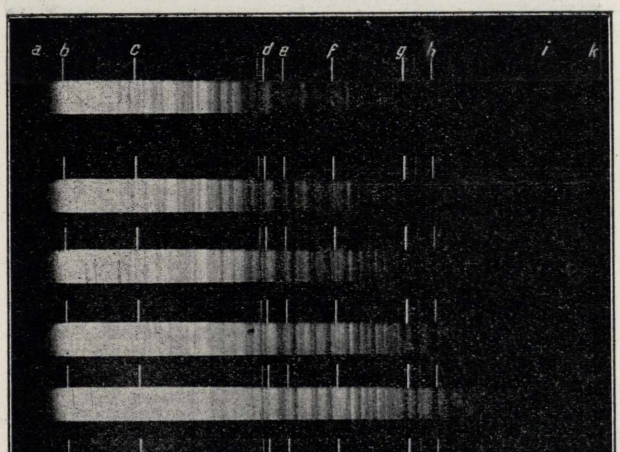


Fig 7.

a . . .	707,0	*d* . . .	495,0
b . . .	668,0	*e* . . .	470,0
c . . .	587,6	*f* . . .	446,0

prawo lub na lewo, oraz w górę i na dół. Okular więc ten śmiało można zalecić.

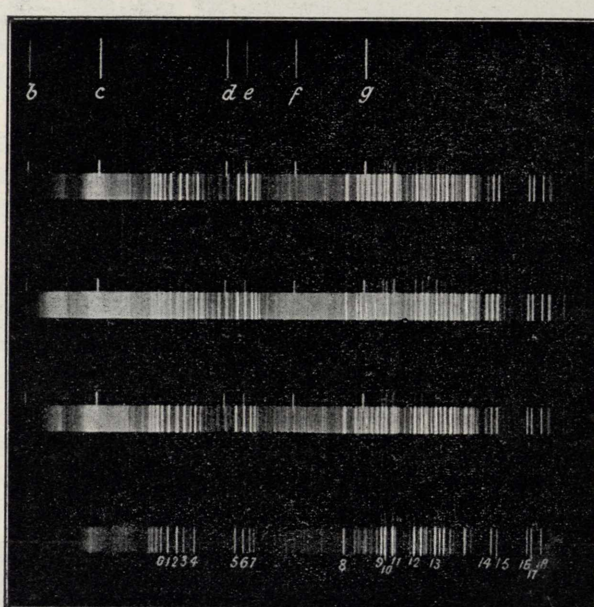


Fig. 8.

Widmo helu. (Fig. 7).

b . . .	668,0
c . . .	587,6
d . . .	495,0
e . . .	470,0
f . . .	446,0

Powyżej prócz widma helu są widma absorbcyjne czterotlenku azotu przy rozmaitych temperaturach.

Widmo łukowe żelaza. (Fig. 8).

0 . . .	5371,62
1 . . .	5328,5
2 . . .	5270,43
4 . . .	5167,5
5 . . .	4957,8
6 . . .	4920,63
7 . . .	4842,25
8 . . .	4528,78
9 . . .	4415,27
10 . . .	4404,88
11 . . .	4383,7
12 . . .	4325,92
13 . . .	4271,93
14 . . .	4143,96
15 . . .	4132,15
16 . . .	4071,8
17 . . .	4063,6
18 . . .	4045,9

Jeżeli zamiast lunety umieścimy, jak to wskazuje fig. 6, komorę fotograficzną, wówczas przyrząd zamienia się na doskonały spektro-

graf. W komorze tej A. Hilger daje objektyw o długości ogniskowej 53,34 cm. (21 cali), co pozwala otrzymywać obrazy względnie długich widm. Z pewnej, dość znacznej liczby zdjęć, dokonanych za pomocą tego spektrografu, przytaczam tu zdjęcia widm emisyjnych helu, widma absorbcyjne czterotlenku azotu, oraz łukowe widmo żelaza, wraz z oznaczeniami długości fal, odpowiadających poszczególnym linjom.

Muszę tu jednak zauważyć, że wstawienie do przyrządu komory fotograficznej, wykonanej z zupełnie zadawalniającą precyzją, przesuwa środek ciężkości przyrządu w taki sposób, że staje się on łatwo wywrotnym. Dobrze więc jest przy zamianie przyrządu na spektrograf przyśrubować do stołu jedną nogę przyrządu.

Z przytoczonych fotografji (Fig. 7 i 8) widzimy, że długość widma w granicach od $\lambda=6680$ do $\lambda=4045,9$ wynosi 73 milimetry, zaś w granicach od $\lambda=5371,62$ do $\lambda=4045,9$ wynosi 52 milimetry, co wykazuje, jak małe jest rozszczepienie w czerwonej części widma, gdyż różnicy w długości fali 1309 *A*, w czerwonej części (od 6680 do 5370) odpowiada długość widma 21 milimetrów, podczas gdy prawie tej samej różnicy w części niebieskiej, t. j. 1326 *A* (od 5370 do 4040) odpowiada 52 milimetry, t. j. blizko dwa i pół raza większa długość.

J. J. Boguski.